

Лекция . 2 Полупроводниковые диоды.

Полупроводниковым диодом называется прибор, который имеет два вывода (приставка "ди-" означает два) и содержит один р-n-переходов. Все полупроводниковые диоды можно разделить на две группы: выпрямительные и специальные. Выпрямительные диоды, как следует из самого названия, предназначены для выпрямления переменного тока. В зависимости от частоты и формы переменного напряжения они делятся на высокочастотные, низкочастотные и импульсные. Специальные типы полупроводниковых диодов используют различные свойства р-n-переходов; явление пробоя, барьерную емкость, наличие участка с отрицательным сопротивлением и др.

Конструктивно выпрямительные диоды делятся на плоскостные и точечные, а по технологиям изготовления на сплавные, диффузионные и эпитаксиальные. Плоскостные диоды благодаря большой площади р-n-перехода используются для выпрямления больших токов. Точечные диоды имеют малую площадь р-n-перехода и, соответственно, предназначены для выпрямления малых токов. Для увеличения напряжения лавинного пробоя используются выпрямительные столбы, состоящие из ряда последовательно включенных диодов.

Выпрямительные диоды большой мощности называются силовыми. Материалом для таких диодов служит кремний или арсенид галлия. Германий практически не применяется из-за сильной температурной зависимости обратного тока. Кремниевые сплавные диоды используются для выпрямления переменного тока с частотой до 5 кГц. Кремниевые диффузионные диоды могут работать на повышенной частоте, до 100 кГц. Кремниевые эпитаксиальные диоды с металлической подложкой (с барьером Шотки) могут использоваться на частотах до 500 кГц. Арсенидгаллиевые диоды способны работать в диапазоне частот до нескольких МГц.

При большом токе через р-n-переход значительное напряжение падает в объеме полупроводника, и пренебречь им нельзя.

Условное графическое обозначение полупроводникового диода и полярность напряжения на электродах приведено на рис. 3а, а его структура на рис. 1.3б. Электрод диода, подключенный к области р, называют анодом (А), а электрод, подключенный к области n, - катодом (К). Статистическая вольт-амперная характеристика соответствует вольт-амперной характеристике р-n-перехода(рис. 1.2) и показана на рис. 1.3в.

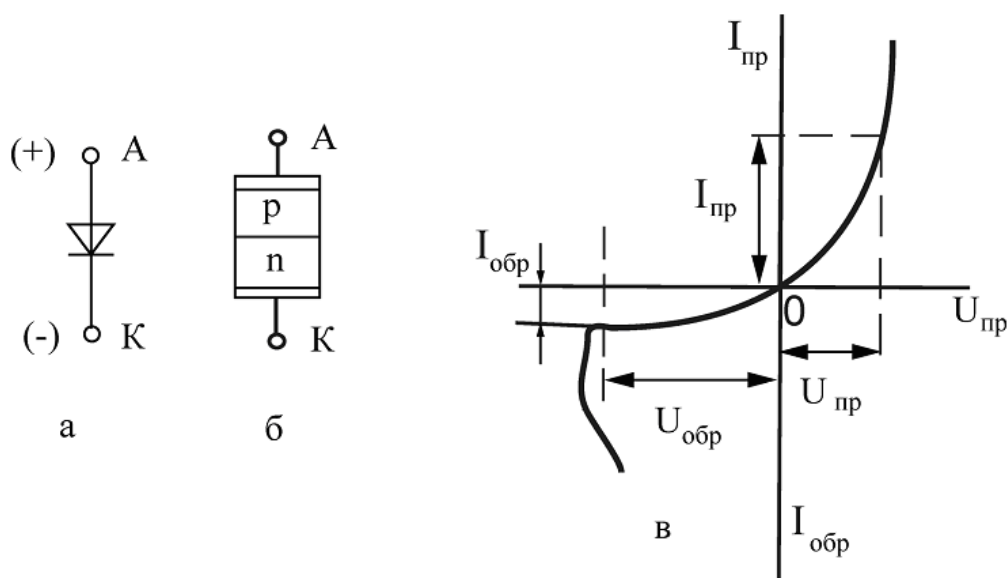


Рис. 1.3 Условное графическое обозначение полупроводникового диода (а), его структура (б), вольт- амперная характеристика (в)

Основными параметрами выпрямительных диодов является прямое напряжение $U_{пр}$, которое нормируется при определенном прямом токе $I_{пр}$; максимально допустимой прямой ток диода $I_{пр. макс}$; максимально допустимое обратное напряжение диода $U_{пр. макс}$; обратный ток диода $I_{обр}$, который нормируется при определенном обратном напряжении. Сопоставление параметров различных выпрямительных диодов дано в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Значения параметров выпрямительных диодов.

Тип диода	Максимальный допустимый прямой ток $I_{пр. макс}$, А	Максимальное допустимое обратное напряжение $U_{обр. макс}$, В	Обратный ток $I_{обр}$, мкА	Межэлектродная емкость, пФ
Низкочастотный маломощный	0,1 - 1,0	200 - 1000	1 - 200	—
Низкочастотный мощный	1 - 2000	200 - 4000	400 - 5000	—
Высокочастотный	0,01 - 0,5	10 - 100	0,1 - 50	0,3 - 15

Для получения более высокого обратного напряжения полупроводниковые диоды можно включить последовательно. Для последовательного включения подходящими являются диоды с идентичными характеристиками. В настоящее время выпускаются так называемые диодные столбы, в которых соединены последовательно от 5 до 50 диодов. Максимально допустимое обратное напряжение $U_{обр. макс}$ таких столбов лежит в пределах 2÷40 кВ.

Более сложные соединения диодов имеются в **силовых диодных сборках**. В них для увеличения прямого тока диоды соединяются параллельно, для увеличения обратного напряжения - последовательно и часто осуществляются соединения, облегчающие применение диодов в конкретных выпрямительных устройствах. Так выпрямительные мосты на кремниевых диодах специально предназначены для использования в однофазных и трехфазных мостовых выпрямителях.

К **специальным полупроводниковым диодам** относят приборы, в которых используются особые свойства р-п-переходов: управляемая полупроводниковая емкость - варикапы; лавинный (электрический) пробой - стабилитроны; фотоэффект - фотодиоды; фотонная рекомбинация носителей зарядов - светодиоды; многослойные диоды - динисторы. Кроме того, к диодам относят некоторые типы приборов с тремя выводами, такие, как тиристоры и двухбазовые диоды.

Варикапы - это полупроводниковые диоды, в которых используется барьерная емкость р-п-перехода. Эта емкость зависит от приложенного к диоду обратного напряжения и с увеличением его уменьшается. Схематическое изображение варикапа приведено на рис.1.4а, а его вольт-амперная характеристика - на рис.1.4б. Основным параметром варикапа является; его начальная емкость C_o , коэффициент перекрытия по емкости K_c

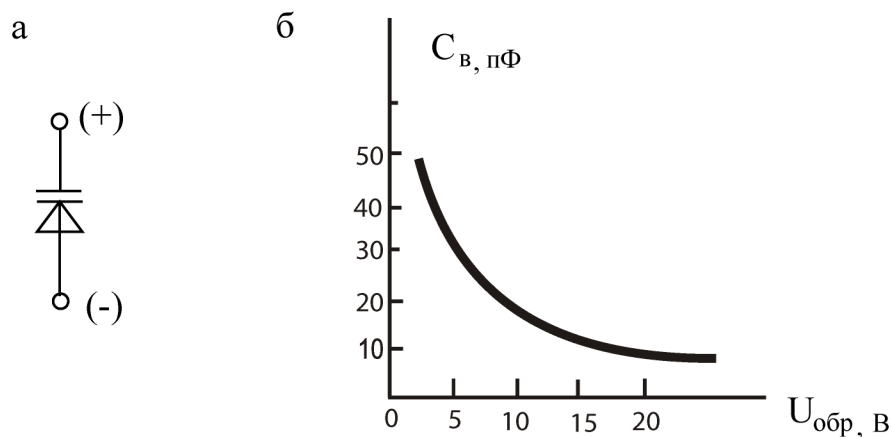


Рис. 1.4. Схематичное изображение варикапа (а) и зависимость емкости варикапа от обратного напряжения (б)

Коэффициент перекрытия по емкости определяется как отношение максимальной емкости $C_{\text{макс}}$ варикапа к его минимальной емкости $C_{\text{мин}}$

$$K_c = \frac{C_{\text{макс}}}{C_{\text{мин}}}.$$

Варикапы находят применение в различных электронных схемах: модуляторах, перестраиваемых резонансных контурах, генераторах с электронной настройкой, параметрических усилителях и генераторах и др.

Стабилитроны - это полупроводниковые диоды, работающие в режиме лавинного (электрического) пробоя. При обратном смещении

полупроводникового диода возникает электрический лавинный пробой p - n -перехода. При этом в широком диапазоне изменения тока через диод напряжение на нем меняется очень незначительно. Для ограничения тока через стабилитрон последовательно включают сопротивление. Если в режиме пробоя мощность, расходуемая в нем, не превышает предельно допустимую, то в таком режиме стабилитрон может работать неограниченно долго.

На рис. 1.5а показано схематическое изображение стабилитрона, а на рис. 1.5б приведены их вольт-амперные характеристики.

Из вольт-амперных характеристик рис. 1.5 видно, что при изменении тока через стабилитрон $\Delta I_{\text{ст}}$ напряжение на стабилитроне $U_{\text{ст}}$ практически постоянно.

Напряжение стабилизации стабилитронов зависит от температуры. На рис. 1.5б штриховой линией показано перемещение вольт-амперных характеристик при увеличении температуры. Очевидно, что повышение температуры увеличивает напряжение лавинного пробоя при $U_{\text{ст}} > 5\text{В}$ и уменьшает его при $U_{\text{ст}} < 5\text{В}$. Иначе говоря стабилитроны с напряжением стабилизации больше 5В имеют положительный температурный коэффициент напряжения (ТКН), а при $U_{\text{ст}} < 5\text{В}$ – отрицательный. При $U_{\text{ст}} = 6 \dots 5\text{В}$ ТКН близок к нулю.

Иногда для стабилизации напряжения используют прямое падение напряжения на диоде. Такие приборы в отличие от стабилитронов называют *стабисторами*. В области прямого смещения p - n -перехода напряжение на нем имеет значение $0,7 \dots 2\text{В}$ и мало зависит от тока. В связи с этим стабисторы позволяют стабилизировать только малые напряжения (не более 2В). Для ограничения тока через стабистор последовательно с ним также включают сопротивление.

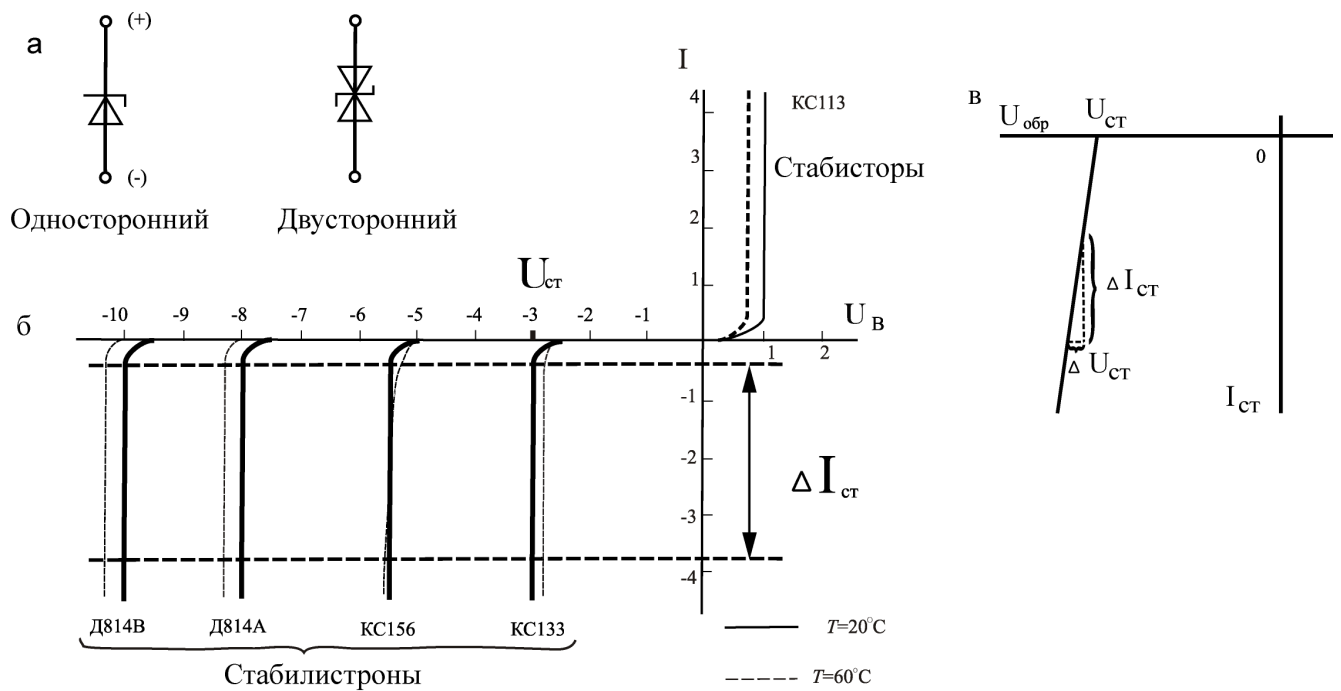


Рис. 1.5. Схематическое изображение стабилизаторов (а) их вольт –амперные характеристики (б), идеальная характеристика (в)

Основными параметрами стабилизаторов являются:

- напряжение стабилизации $U_{ст}$;
- температурный коэффициент напряжения стабилизации $ТКН_{ст}$;
- допустимый ток через стабилизатор $I_{ст.доп}$;
- дифференциальное сопротивление стабилизатора $R_{ст} = \Delta U_{ст} / \Delta I_{ст}$

Дифференциальное сопротивление стабилизатора – это параметр, который характеризует наклон вольт-амперной характеристики в области пробоя. На рис. 1.5в, приведена линеаризованная характеристика стабилизатора, с помощью которой можно определить его дифференциальное сопротивление в основе выпрямляющего диода может использоваться не только переход между полупроводниками p - и n -типа, но и между полупроводником и металлом. Такие диоды называются **диодами Шоттки**.

Основной отличительной особенностью характеристик диода Шоттки является значительное меньшее прямое падение напряжения по сравнению с диодами на основе p - n -перехода. Это объясняется тем, что в диоде Шоттки одно из веществ перехода-металл, и следовательно, его электрическое сопротивление (и соответствующее падение напряжения на нем) значительно меньше, чем у полупроводника.

Другая особенность диода Шоттки- отсутствие проникновения неосновных носителей заряда из металла в полупроводник (в рассматриваемом случае – дырок, которые для n - области являются неосновными). Это значительно повышает быстродействие диодов Шоттки по сравнению с обычными диодами, так как отпадает необходимость в рассасывании таких носителей при смене полярности внешнего напряжения.

Диоды Шоттки, у которых выпрямляющий переход представляет собой тонкую пленку молибдена или алюминия, нанесенную на пластинку кремния методом вакуумного напыления, обладают емкостью, не превышающей 0,01 пФ. Это обеспечивает чрезвычайно малое время

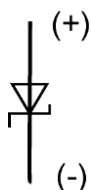


Рис. 1.6. Условное обозначение диода Шоттки

их переключения (доли наносекунды) и предельно высокую частоту работы (десятки гигагерц). Мощные диоды позволяют пропускать токи в десятки ампер при обратных напряжениях до 500 В. Благодаря меньшему прямому напряжению они обеспечивают более высокий КПД. Условное обозначение металлополупроводникового диода Шоттки приведено на рис. 1.6 .

Фотодиод представляет собой диод с открытым $p-n$ -переходом. Световой поток Φ фотодиода, падающий на открытый $p-n$ -переход приводит к появлению в одной из областей дополнительных неосновных носителей зарядов, в результате чего увеличивается обратный ток. В общем случае ток фотодиода определяется световым потоком.

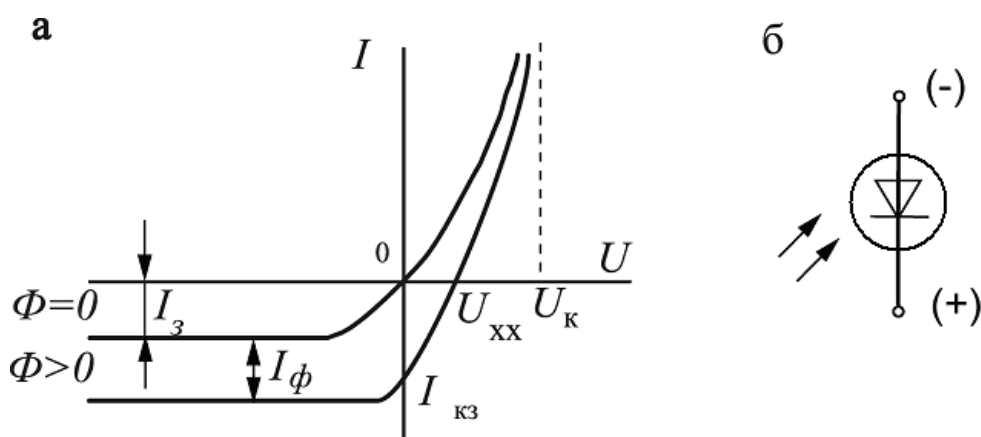


Рис. 1.7. Вольт-амперная характеристика фотодиода (а),его схематическое изображение (б)

Вольт-амперные характеристики фотодиода приведены на рис. 1.7а, а его схематичное изображение – на рис. 1.7б.

Без включения нагрузки фотодиод может работать в двух режимах: 1) короткого замыкания и 2) холостого хода. В режиме короткого замыкания напряжение на диоде равно нулю, и ток в диоде определяется Φ . Таким образом, в режиме короткого замыкания соблюдается прямая пропорциональность между током в диоде и световым потоком. При $\Phi=0$ существует теневого ток I_s . Такая пропорциональность достаточно хорошо соблюдается в пределах 6-7 порядков.

В режиме холостого хода тока в диоде нет, а напряжение холостого хода U_{xx} отмеченное на рис.1.7 а, лежит на горизонтальной оси. Таким образом, при

Если $I=0$ область p заряжается положительно, а область n – отрицательно и между электродами фотодиода при освещении появляется разность потенциалов, называемая фото-ЭДС (E_{ϕ}). E_{ϕ} равна напряжению U_{xx} и не может превышать контактной – разности потенциалов U_k . Для кремниевых фотодиодов напряжения $U_{xx} < 0,7\text{В}$.

Для режима холостого хода характерна логарифмическая зависимость выходного напряжения от освещенности, причем выходное напряжение не превышает некоторого определенного значения при любой освещенности.

Фотодиоды находят применение как приемники энергии оптического излучения. Так солнечные батареи изготавливаются на основе фотодиодов с Светоизлучающие диоды (**светодиоды**) преобразуют электрическую энергию в световое излучение за счет рекомбинации электронов и дырок. В обычных диодах рекомбинация электронов и дырок происходит с выделением тепла, т.е. без светового излучения. Такая рекомбинация вызывается фононной.

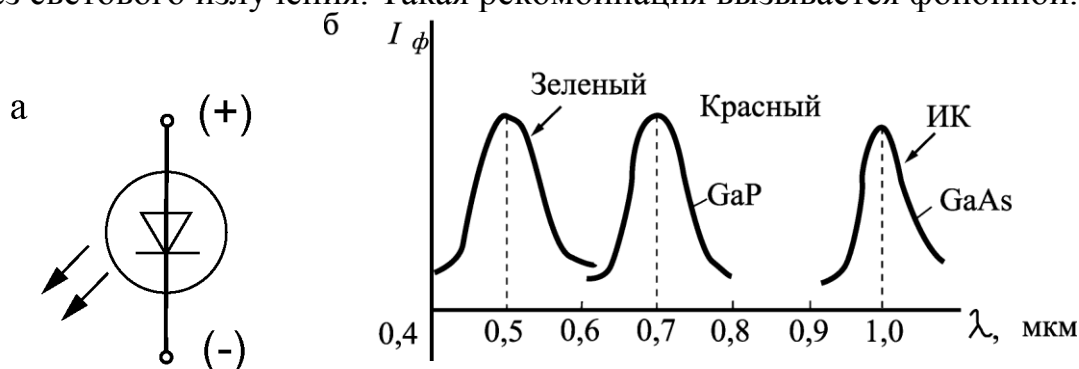


Рис. 1.8 Условное схематическое изображение светодиода (а) и спектральные характеристики излучения (б)

В светодиоде преобладает рекомбинация с излучением света, которая называется фотонной. Обычно такое излучение бывает резонансным и лежит в узкой полосе частот. Для изменения длины волны излучения можно менять полупроводниковый материал, из которого изготовлен светодиод. На рис.1.8 а, показано схематическое изображение светодиода, а на рис. 1.8 б приведены спектральные характеристики излучения.

Для изготовления светодиодов наиболее часто используются фосфид галлия или арсенид галлия. Для диодов видимого излучения часто используют фосфид-арсенида галлия.

Светодиоды изготавливают как в виде отдельных индикаторов, так и в виде семисегментных или точечных матриц. Семисегментные матрицы состоят из семи светящихся полосок- сегментов, из которых можно синтезировать изображение любой цифры от 0 до 9 (такие матрицы используются, например, в электронных часах с цифровой индикацией). В точечных матрицах изображение формируется из светящихся точек. На основе точечных матриц можно синтезировать уже не только изображение цифры, но и любого индицируемого знака (буква, специального символа и т.д.).

Светодиоды и фотодиоды часто используются в паре, которая получила название **оптрон**. При этом они помещаются в один корпус (рис. 1.9) таким образом, чтобы светочувствительная площадка фотодиода располагалась напротив излучающей площадки светодиода.

Оптоны широко используются в электронной аппаратуре для гальванической развязки входных и выходных цепей. Входные и выходные цепи в таких приборах оказываются электрически никак не связанными, поскольку передача сигнала осуществляется через оптическое излучение.

Использование оптронов в электронно-вычислительных устройствах является одним из основных методов повышения помехоустойчивости аппаратуры.

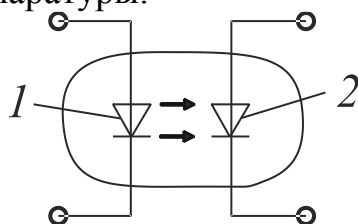


Рис. 1.9. Оптрон:
1- светодиод; 2-
фотодиод

Основной носитель помех в радиоэлектронной аппаратуре – корпус. Корпус используется как один из полюсов электропитания, поэтому подключение к нему разных силовых устройств приводит к наведению кратковременных импульсных помех при коммутациях силовых цепей. В то же время для передачи информации чисто электрическим путем между устройствами-источником и приемником

информации – должна быть электрическая связь по корпусу. Если к этому же корпусу подключены силовые цепи, то помехи, вызванные коммутациями в этих цепях, приводят к сбоям в работе других устройств, подключенных к корпусу.

Передача информации с помощью оптронов позволяет развязать электрические цепи питания источника и приемника информации, так как носителем информации является электрически нейтральное оптическое излучение. Таким образом, устройства могут иметь разные корпуса, т.е. оказываются гальванически развязанными и не подверженными воздействию помех.

Кроме защиты от воздействия помех, гальваническая развязка на основе оптронов позволяет решить еще одну задачу – совместную работу устройств, находящихся под разными потенциалами. Любая, даже небольшая, разность потенциалов не позволяет чисто электрически соединять разные устройства, поскольку это приведет к выходу их из строя. Передача сигнала в оптроне возможна, даже если цепи светодиода и фотодиода находятся под разными (в некоторых оптронах до 500 В) напряжениями. Таким образом, устройства, информационно связанные с помощью оптрона, могут находиться под разными электрическими потенциалом.

